МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 627.912 DOI 10.12737/22164

Измеритель напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля*

К. Г. Дударев[1], И. М. Бондарь[2]**

[1,2]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Measuring the magnetic component of the electromagnetic field***

K. G. Dudarev[1], I. M. Bondar[2]**

[1,2]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Предлагается устройство измерения напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля. В качестве чувствительного элемента устройства измерения напряженности магнитного поля предложено использовать магнитодиоды, а для улучшения чувствительности применить метод голографической интерферометрии. Предлагаемый измеритель состоит из калибровочной антенны, подключенной к выходу калибровочного генератора и последовательно соединенных магнитодиода, фильтра, усилитель-корректора, интерференционно-голографической системы и измерительного прибора. Калибровочный генератор сделан перестраиваемым. Применение рассмотренного выше метода измерения напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля позволит существенно повысить точность и удобство измерений, даст возможность создавать высокочувствительные, малогабаритные, сравнительно простые в эксплуатации приборы, обеспечивающие возможность сопряжения с различными устройствами вывода и наглядности информации. Кроме того, отпадает необходимость в периодической поверке измерителя в стационарных условиях специализированного центра.
Калибровка измерителя используется для осуществления постоянной и своевременной коррекции изменений, связанных со старением, температурой, давлением и тряской.

A device for measuring the magnetic component of the electromagnetic field is proposed. Magnetodiodes are offered to be used as an electromagnetic field-intensity meter sensing element, and the holometry method – to improve the sensitivity. The proposed meter consists of the standard antenna connected to the calibration generator output, and of the series-connected magnetodiode, filter, processing amplifier, interference-holographic system, and measuring device. The calibration oscillator is made tunable. The application of the discussed above method of measuring the magnetic component of the electromagnetic field will allow significantly improve the accuracy and ease of measurement, will make it possible to create highly sensitive, compact, relatively easy-to-work tools that provide the capability of interfacing with a variety of the output devices and information visualization. In addition, the periodic meter recalibration under the steady-state conditions in the technical center is eliminated. The meter calibration is used for the permanent and timely correction of the changes associated with aging, temperature, pressure, and vibration.

Ключевые слова: измеритель, напряженность, электромагнитное поле, магнитодиод, чувствительность, голографическая интерферометрия, метод, прибор, неразрушающий контроль, точность, оптика.

Keywords: meter, intensity, electromagnetic field, magnetodiode, sensitivity, holographic interferometry, method, device, nondestructive test, accuracy, optics.

Введение. В настоящее время необходимость измерять параметры магнитных полей возникает во многих областях науки и техники. В качестве примеров можно привести следующие случаи: при исследовании магнитного поля Земли, планет и космического пространства; в криогенной электронике; при геологической разведке полезных ископаемых; при исследовании магнитных полей биологических объектов в медицине; при неразрушающем контроле материалов и изделий; при измерении токов без разрыва цепи; в приборостроительной, машиностроительной, электронной и радиотехнической промышленности. Каждая из этих областей предъявляет свои требования к диапазону и точности измерений, частотному диапазону измеряемых величин, условиям эксплуатации средств измерений.

---

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: mark8188@yandex.ru, rgsu-ela@yandex.ru

*** The research is done within the frame of the independent R&D.

Для измерения напряженности магнитного поля используют различные виды приборов [1–9], которые упрощают процесс измерений, а иногда позволяют расширить диапазон измеряемых величин и повысить точность измерений.

Анализ чувствительных элементов, используемых в измерителях параметров электромагнитных полей и оптических методов преобразования измеряемых физических величин, позволяет сделать вывод о перспективности использования полупроводниковых магниточувствительных элементов и методов голографической интерферометрии при проектировании таких устройств.

Основная часть. В качестве чувствительного элемента прибора измерения напряженности магнитного поля предложено использовать магнитодиоды, а для увеличения их точности определения (чувствительности магнитодиодов) использовать метод голографической интерферометрии.

Предлагаемый измеритель (рис.1) состоит из калибровочной антенны 1, подключенной к выходу калибровочного генератора 2 и последовательно соединенных магнитодиода 3, фильтра 4, усилитель-корректора 5, интерференционно-голографической системы 6 [10], измерительного прибора 7. Калибровочный генератор сделан перестраиваемым.

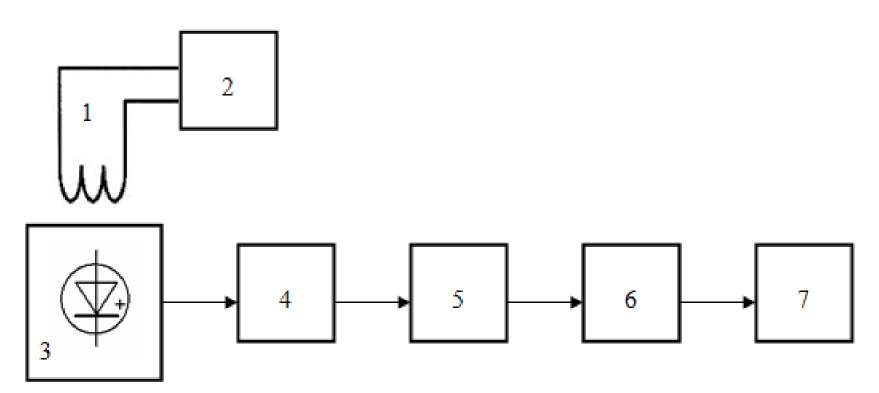


Рис. 1. Структурная схема измерителя напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля

Антенна расположена как можно ближе к магнитодиоду. Результат заключается в повышении чувствительности и удобства измерений. Кроме того, отпадает необходимость в периодической поверке измерителя в стационарных условиях специализированного центра.

Измеритель работает следующим образом. Вначале, при установке чувствительности измерителя, на магнитодиод 3 воздействуют стандартным равномерным переменным электромагнитным полем заданной напряженности формируемого, например, кольцами Максвелла в соответствии с [7]. Данное поле магнитодиодом преобразуется в электрический сигнал, который усиливается регулируемыми усилителями 5 и 6, и подается на прибор 7. Изменяя усиление устройств 5 и 6 на измерительном приборе 7, устанавливают значение, соответствующее заданной напряженности внешнего стандартного электромагнитного поля.

Затем отключают внешний генератор и включают калибровочный регулируемый генератор 2. Частота генератора такая же, как у внешнего генератора стандартного поля. Выходное напряжение регулируемого генератора 2 поступает на антенну 1 и образует вокруг калибровочной антенны электромагнитное поле. Напряженность поля, созданного генератором 2 и антенной 1, воздействует на магнитодиод 3 и преобразуется в нем в соответствующий электрический сигнал. Этот сигнал усиливается регулируемыми усилителями 5 и 6 и передается на измерительный прибор 7. Изменяя амплитуду выходного сигнала генератора 2, добиваются таких значений измерительного прибора 7, которые были на нем при воздействии стандартного внешнего электромагнитного поля заданной напряженности. Эти значения перестраиваемого генератора 2 фиксируют. При этом, созданное поле отличается от равномерного стандартного, но оно эквивалентно ему и вызывает в магнитодиоде такой же электрический сигнал.

Калибровка измерителя используется для осуществления постоянной и своевременной коррекции изменений, связанных со старением, температурой, давлением и тряской.

При эксплуатации, перед измерением, вначале экранируют измеритель и калибруют его. После этого, изменяя усиление перестраиваемых усилителей 5 и 6, устанавливают значения измерительного прибора 7, равное значениям при первичной установке чувствительности. После этого выключают калибровочный генератор 2 и производят измерение.

Распределение интенсивности поля в интерферрограмме усилителя 6 (рис. 2), формируемого в плоскости линейки фотоприемных устройств, при наличии измеряемого сигнала можно определить как:

$$I_{гл} = b_0 + b_1\{\exp[\,jk(\{[\frac{(R+L)^2 - R^2 \operatorname{Sin}^2 2\alpha}{2(R+L)^3} - \frac{1}{2(R+L)} +$$
$$\frac{1}{2(R+\Delta R+L)} - \frac{(R+\Delta R+L)^2 - (R+\Delta R)^2 \operatorname{Sin}^2 2\alpha}{2(R+\Delta R+L)^3}]x +$$
$$+[\frac{(R+\Delta R)\operatorname{Sin} 2\alpha}{R+\Delta R+L} - \frac{R \operatorname{Sin} 2\alpha}{R+L}]\}\}\} \qquad (1)$$

где:

b_0 — член, характеризующий постоянный световой фон в плоскости главного изображения;

b_1 — амплитудный коэффициент при интерференционных членах;

S_1' — положение точечного источника S_1 после его перемещения вдоль оптической оси;

S_2' — зеркальное отражение точки S_2;

r_{1i} — расстояние от S_1 в плоскости XOZ до произвольной точки на голограмме;

r_{1i}' — расстояние от S_1' до произвольной точки на голограмме;

r_{2i}' — расстояние от S_2' до произвольной точки на голограмме;

a'_1 — амплитудный коэффициент затухания поля от источника S'_1 в плоскости голограммы;

a'_2 — амплитудный коэффициент затухания поля от источника S'_2 в плоскости голограммы;

a_c — коэффициент затухания прямой волны;

$2\Delta a$ — коэффициент затухания дифрагированной волны;

RR — расстояние от S_1 до зеркала вдоль оптической оси (оптическая ось перпендикулярна плоскости голограммы);

ΔR — перемещение точечного источника из S_1 в S'_1;

α — угол между голограммой и зеркалом;

K — волновое число;

AB — голограмма;

AD — отражательное зеркало.

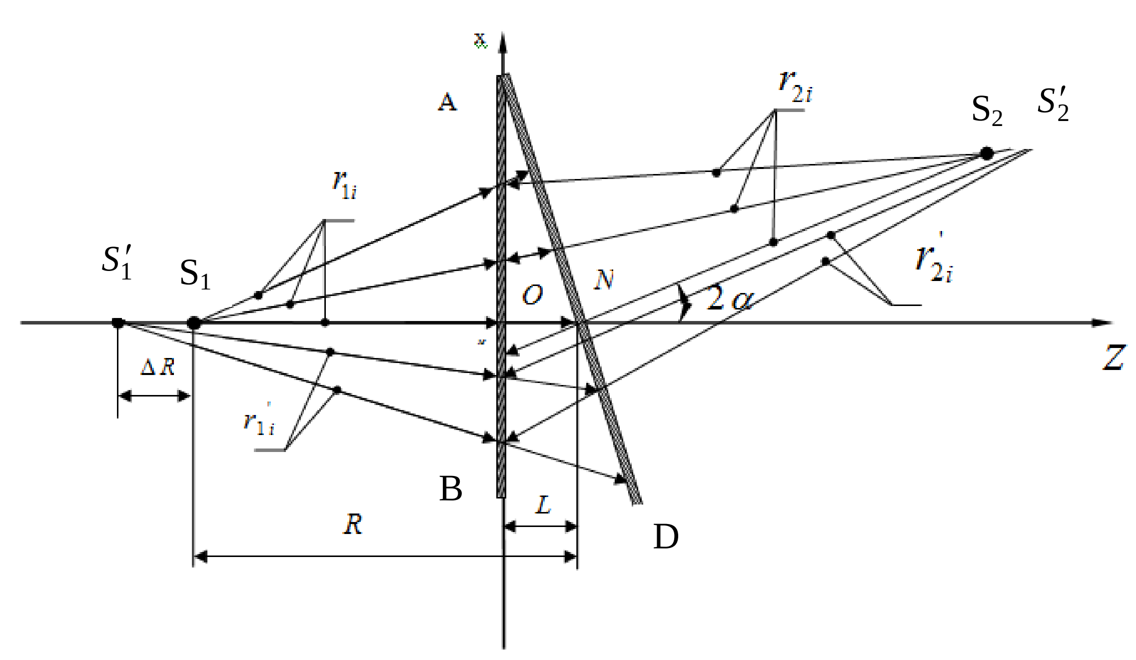


Рис. 2. Интенсивность оптического поля в плоскости главного изображения

Заключение. Применение рассмотренного выше метода измерения напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля позволит существенно повысить точность и удобство измерений, даст возможность создавать высокочувствительные, малогабаритные, сравнительно простые в эксплуатации приборы, обеспечивающие возможность сопряжения с различными устройствами вывода и наглядности информации.

Библиографический список

1. Электротехника и электроника / под ред. Кононенко В. В. 6 изд. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2010. — 757 с.
2. Плетнёв, С. В. Магнитное поле : свойства, применение. — Санкт-Петербург : Гуманистика, 2004. — 624 с.
3. Буль, О. Б. Магнитные цепи, поля и программа. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов / О. Б. Буль. — Москва : Академия, 2005. — 336 с.
4. Антонов, В. Г. Средства измерений магнитных параметров материалов / В. Г. Антонов, Л. М. Петров, А. П. Щелкин — Москва : Энергоатомиздат, 1986. — 216 с.
5. Fausto Fiorillo, Isaak Mayergoyz. Characterization and Measurement of Magnetic Materials. Academic Press. — 2005. — 647 p.
6. David K. Cheng. Field And Wave Electromagnetics. Addison-Wesley Educational Publishers. —2008. — 272 p.
7. Чернышева, Е. Т., Магнитные измерения / Е. Т. Чернышева, Н. Г. Чернышева. — Москва : Стандарты, 1969. — 248 с.
8. Панин, В. В. Измерение импульсных магнитных и электрических помех / В. В. Панин, Б. И. Степанов. — Москва : Энергоатомиздат, 1983. — 120 с.
9. Бондарь, И. М. Сравнительная оценка магнитных систем электродинамических сепараторов . [Электронный ресурс] / И. М. Бондарь, К. Г. Дудурев // Инженерный вестник Дона — 2015. — № 3. — ч.2. — Режим доступа : http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3094 (дата обращения 23.07.2015).
10. Дударев, К. Г. Бесконтактный метод тепловой диагностики электродвигателей [Электронный ресурс] / К. Г. Дудурев, И. М. Бондарь // Научное обозрение.— 2014. — №9. — ч. 3. — Режим доступа : http://sced.ru/u/index.php?option=com_content&view=article&id= 316:nauchnoe-obozrenie -9-3-2014&catid =43:uncategorised&limitstart=7 (дата обращения 21.04.2015).

References

1. Kononenko, V.V., ed. Elektrotekhnika i elektronika. 6th ed. [Electrical and Electronic Engineering.] Rostov-on-Don: Feniks, 2010, 757 p. (in Russian).
2. Pletnev, S.V. Magnitnoe pole: svoystva, primenenie. [Magnetic field: properties and applications]. Piter: Gumanistika, 2004, 624 p. (in Russian).
3. Bul, O.B. Magnitnye tsepi, polya i programma. Metody rascheta magnitnykh sistem elektricheskikh apparatov. [Magnetic circuits, fields, and the program. Analysis techniques of magnetic systems of electric apparatus]. Moscow: Akademiya, 2005, 336 p. (in Russian).
4. Antonov, V.G., Petrov, L.M., Shchelkin, A.P. Sredstva izmereniy magnitnykh parametrov materialov Moscow: Energoatomizdat, 1986, 216 p. (in Russian).
5. Fiorillo, F., Mayergoyz, I. Characterization and Measurement of Magnetic Materials. Academic Press, 2005, 647 p.
6. Cheng, David K. Field and Wave Electromagnetics. Addison-Wesley Educational Publishers, 2008, 272 p.
7. Chernysheva, E. T., Chernysheva, N.G. Magnitnye izmereniya. [Magnetic measurements.] Moscow: Standarty, 1969, 248 p. (in Russian).
8. Panin, V.V., Stepanov, B.I. Izmerenie impul'snykh magnitnykh i elektricheskikh pomekh. [Measurement of pulsed magnetic and electrical interference] Moscow: Energoatomizdat, 1983, 120 p. (in Russian).
9. Bondar, I.M., Dudurev, K.G. Sravnitel'naya otsenka magnitnykh sistem elektrodinamicheskikh separatorov. [Comparative evaluation of magnetic systems of electrodynamic separators.] Engineering Journal of Don, 2015, no. 3, part 2. Available at: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3094 (accessed: 23.07.2015).
10. Dudurev, K.G., Bondar, I.M. Beskontaktnyy metod teplovoy diagnostiki elektrodvigateley. [Contactless method of heat diagnostics of electric engines.] Science Review, 2014, no. 9, part 3. Available at: http://sced.ru/u/index.php?option=com_content&view=article&id= 316: nauchnoe-obozrenie -9-3-2014&catid =43: uncategorised&limitstart=7 (accessed: 21.04.2015).

Поступила в редакцию 30.03.2016
Сдана в редакцию 31.03.2016
Запланирована в номер 30.09.2016

Received 30.03.2016
Submitted 31.03.2016
Scheduled in the issue 30.09.2016